УДК 681.325

В. М. Лукашенко[1], *д.т.н., професор*,
e-mail: kafedra_ckc@ukr.net
Т. Ю. Уткіна[1], *к.т.н., доцент*,
e-mail: utia_chdtu@yahoo.com
А. Г. Лукашенко[2], *к.т.н.*,
С. А. Міценко[1], *аспірант*,
К. О. Дубіцький[1], *магістрант*
[1] Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна
[2] Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
вул. Боженка, 11, м. Київ-150, 03680, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ ВИБОРУ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

В роботі проведено аналіз сучасних моделей інтегральних акселерометрів сучасних фірм-виробників MEMS для лазерного технологічного обладнання. Необхідною ланкою для будь-якого контуру управління, що дозволяє забезпечити сигналом зворотного зв'язку електроніку, яка керує виконавчим пристроєм, є датчики фізичної величини. Акселерометри реагують на прискорення або силу, що діє на сенсорний елемент датчика. Створено узагальнену математичну модель за основними технічними параметрами акселерометрів. На базі властивостей теорії розмірностей, безрозмірних степеневих комплексів та евристичного методу розроблено багатопараметричні критерії якості та визначено їх фізичне тлумачення. Запропоновано процедуру оптимізації вибору датчиків з множини існуючих за рахунок розробки критеріїв якості та візуалізації запропонованої знакової моделі залежностей багатопараметричних критеріїв якості множини сучасних акселерометрів у чотирьох квадрантах. В результаті функціонального аналізу знакової моделі з множини сучасних акселерометрів визначено найпридатнішу модель за багатьма параметрами одночасно.

Ключові слова: *акселерометр, знакова модель, критерії якості, теорія розмірностей.*

Постановка проблеми. Область застосування інтегральних датчиків є надзвичайно широкою: від аерокосмічної техніки до автомобільної та робототехніки.

Одним із поширених типів датчиків є інтегральні акселерометри, що виготовляються за технологією MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Для ринку промисловості MEMS-акселерометрів, за даними французької консалтингової організації Yole Développement, характерне домінування 30 найбільших компаній-виробників, а саме: Bosch, STMicroelectronics, Texas Instruments, Avago Technologies Inven Sense, Qorvo, Knowles Electronics та ін. [1–2].

Дійсно, сьогодні технології MEMS сягнули такого рівня, який допускає не тільки виробництво недорогих компонентів у масових обсягах, а й масоване розширення кола їх застосувань, у тому числі й у лазерному технологічному обладнанні [1–12]. Тому на прикладі цих інтегральних акселерометрів проводяться наступні дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Питанням побудови, управління й застосування акселерометрів присвячено ряд робіт А. Юдіна, О. Коленченко, С. Сисоєвої, Ю. Петропавловского, Д. Ларіонова, О. Казакевича, А. Лєбєдєва, І. Петрова, О. Тузова, B. Scannell, V. Lara, Ch. J. Fisher та ін. Однак у цих роботах недостатньо відображено, як з безлічі сучасних моделей акселерометрів швидко визначити таку, яка найбільш задовольнить замовника за відповідними параметрами.

Дослідження сучасних моделей акселерометрів за багатьма параметрами при відсутності математичного опису взаємозв'язків між ними не дозволяє оптимізувати процедуру з використанням ПК і займає багато часу. Тому задача швидкого визначення моделі акселерометра з множини існуючих за багатьма параметрами є актуальною.

Метою роботи є оптимізація процедури вибору моделі акселерометра з множини існуючих за рахунок моделювання та розробки багатопараметричних критеріїв якості.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

– скласти перелік фізичних моделей інтегральних акселерометрів сучасних фірм-виробників MEMS за основними технічними параметрами;

– створити узагальнену математичну модель за основними технічними параметрами акселерометрів;

– визначити вид моделювання;

– розробити багатопараметричні критерії якості й визначити їх фізичне тлумачення;

– візуалізувати процес вибору датчиків із множини сучасних моделей акселерометрів за визначеними основними технічними параметрами;

– визначити найпридатнішу модель датчика на підставі функціонального аналізу їх множини.

Виклад основного матеріалу. Аналіз сучасних моделей акселерометрів різних фірм-виробників MEMS показав, що основними їх технічними параметрами, які впливають на експлуатаційні властивості, є: діапазон робочих температур, кількість діапазонів вимірюваних прискорень, максимальна частота передачі даних на вихід, час затримки, максимальне і мінімальне значення допустимого струму живлення.

Перелік сучасних моделей акселерометрів різних компаній-виробників та їх основні технічні параметри наведено в табл. 1.

Узагальнена математична модель за основними технічними параметрами акселерометрів, що подані в табл. 1, має такий вигляд:

$$F\left(Q_{\max}, Q_{\min}; f, t; K_G; I_{\max}, I_{\min}\right)=0, \qquad (1)$$

де $Q_{\max}, Q_{\min}$ – максимальні та мінімальні значення робочої температури;

f – максимальна частота передачі даних на вихід;

t – час затримки;

K_G – кількість діапазонів вимірюваних прискорень акселерометра;

$I_{\max}, I_{\min}$ – максимальні та мінімальні значення допустимого струму живлення.

Аналіз узагальненої математичної моделі (1) підтверджує відсутність аналітичного зв'язку між наведеними параметрами. Тому визначається умовне моделювання і розробляються умовні критерії якості. Для цього на базі даних табл. 1, властивостей теорії розмірностей, безрозмірних степеневих комплексів та евристичного методу створюються багатопараметричні критерії якості і визначається їх фізичне тлумачення [9–12].

Розроблено багатопараметричні критерії якості та їх фізичне тлумачення, які мають вигляд:

$K_Q = \left(\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}\right)$ – безрозмірна величина, що характеризує робочий температурний діапазон акселерометра, найкраща при $K_Q \to 1$;

$K_F = (f \cdot t)$ – безрозмірна величина, яка характеризує швидкодію акселерометра. Враховуючи, що $f = const$ і швидкість залежить від часу затримки t, найкращою величиною є мінімальне значення;

K_G – величина, яка характеризує кількість діапазонів вимірюваних прискорень акселерометра, найкращою є максимальна;

$K_I = \left(\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}}\right)$ – безрозмірна величина, яка характеризує робочий діапазон струму живлення, найкраща при $K_I \to 1$.

Результати розрахунку критеріїв якості наведені в табл. 1.

Відомо, що візуалізація прискорює процес вибору датчиків із множини сучасних моделей акселерометрів. Тому на підставі розроблених критеріїв якості критеріальне рівняння набирає такого вигляду:

$$\psi = \left(K_Q; K_F; K_G; K_I\right) = 0. \qquad (2)$$

На базі критеріального рівняння (2), властивостей π-теореми та багатопараметричних критеріїв якості (табл. 1) будується знакова модель залежностей критеріїв якості за основними технічними параметрами в чотирьох квадрантах, яка зображена на рис. 1.

Таблиця 1

Перелік сучасних моделей акселерометрів з основними технічними параметрами та критеріїв якості

№	Модель	Q_{max}, К	Q_{min}, К	Діапазони вимірюваних прискорень	f, кГц	t, мс	I_{max}, мА	$I_{\min}$, мА	Критерії якості			
									K_Q	K_F	K_G	K_I
Analog Devices												
1	ADXL313	233	378	±0,5/±1/±2/ ±4	2	1,4	0,3	0,1	0,38	4,48	4	0,67
2	ADXL345	243	358	±2/±4/±8	2	2	0,14	0,03	0,32	6,4	3	0,79
Bosch Sensortec												
3	BMA280	233	358	±2/±4/±8	2	3	0,13	0,066	0,35	6	3	0,49
4	BMA250E	243	348	±2/±4	2	4	0,13	0,066	0,30	8	2	0,49
Murata												
5	SCA830-D06	243	398	±1/±2	2	100	6,3	5	0,39	200	2	0,21
6	SCA3100-D07	243	393	±5/±6	2	110	5	3	0,38	220	2	0,4
STMicroelectronics												
7	AIS326DQ	243	378	±2/±6	2	1,95	0,8	0,67	0,36	3,9	2	0,16
8	LIS2DS12	243	358	±2/±4/±8/ ±16	2	1,2	0,15	0,013	0,32	4,8	4	0,92

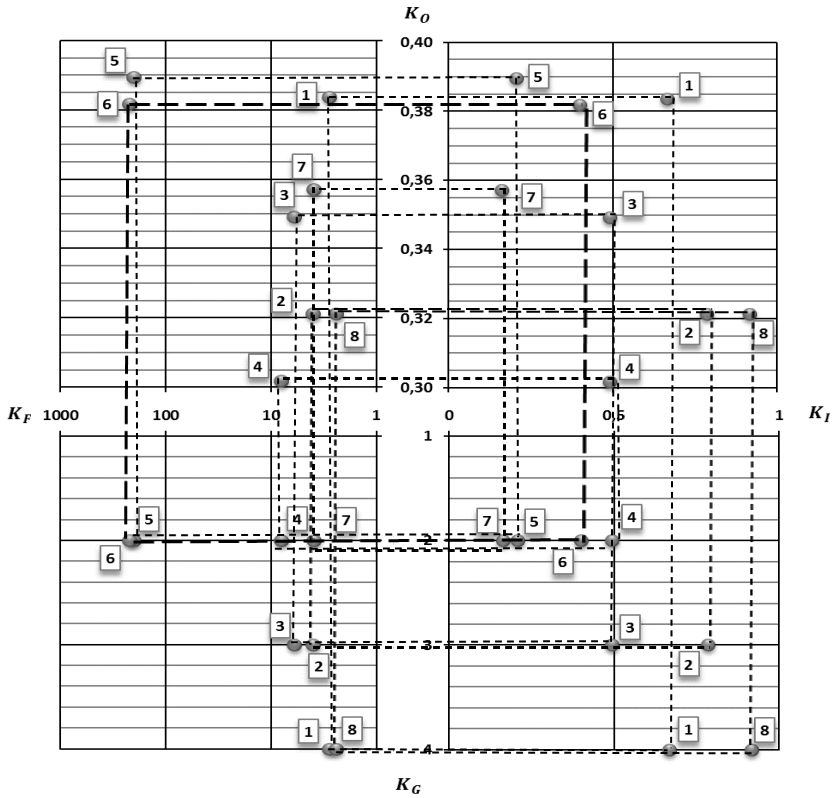

Рис. 1. Знакова модель оптимізації вибору датчиків з множини моделей акселерометрів у безрозмірних координатах

Примітка: цифри 1, 2, …, 8 відповідають цифрам у табл. 1.

З рис. 1 видно, що найкращою моделлю акселерометра є № 6 SCA3100-D07 фірми Murata.

Отже, візуалізація знакової моделі в чотирьох квадрантах прискорює вибір та визначення найкращих моделей датчиків з множини існуючих завдяки одночасному аналізу за багатьма параметрами.

Висновки. Шляхом аналізу об'єкта дослідження встановлено, що побудова його з визначеними найпридатнішими моделями компонентів підвищує якість самого об'єкта.

1. Визначено умовне моделювання, що дозволило провести дослідження за багатьма параметрами при відсутності аналітичного виразу взаємозв'язків між ними.

2. Розроблено безрозмірні критерії якості за сімома основними технічними параметрами, на основі яких побудована знакова модель у чотирьох квадрантах.

Отже, за результатом візуалізації знакової моделі та функціонального аналізу одночасно за сімома параметрами визначено, що найпридатнішою моделлю є акселерометр Murata SCA3100-D07.

Перспективою подальших досліджень є розробка узагальненого показника якості сучасних моделей акселерометрів для лазерного технологічного обладнання.

Список літератури

1. The MEMS industry: desperately seeking a second wind, available at: http://www.i-micronews.com/mems-sensors/7185-the-mems-industry-desperately-seeking-a-second-wind.html
2. 2015: A year of contrasts for MEMS companies, available at: http://www.i-micronews.com/mems-sensors/ 7174-2015-a-year-of-contrasts-for-mems-companies.html
3. Петропавловский Ю. Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices. Часть 1 / Ю. Петропавловский // Элементы и компоненты. – 2015. – № 6. – С. 40–45.
4. Петропавловский Ю. Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices. Часть 2 / Ю. Петропавловский // Элементы и компоненты. – 2015. – № 7. – С. 24–29.
5. Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Инерциальные системы – от low-end до high-end сегментов / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2010. – № 5. – С. 22–30.
6. Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Акселерометры / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2010. – № 3. – С. 20–26.
7. Юдин А. Новые акселерометры компании STMicroelectronics / А. Юдин // Компоненты и технологии. – 2009. – № 2. – С. 28–31.
8. Лебедев А. Цифровые МЭМС-акселерометры в automotive исполнении / А. Лебедев // Современная электроника. – 2008. – № 5. – С. 12–15.
9. Рудаков К. С. Двоквадрантна образно-знакова модель визначення ефективного маршрутизатора / К. С. Рудаков, В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 150–156.
10. Лукашенко В. М. Метод розширення функціональних можливостей сучасних мікроконтролерів / В. М. Лукашенко, М. В. Чичужко, Д. А. Лукашенко // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2013. – № 6. – С. 186–189.
11. Determination method of efficiency units for conditional similarity criterion / V. M. Lukashenko, M. V. Chichuzhko, D. A. Lukashenko, V. A. Lukashenko // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 2. – С. 44–47.
12. Методика функціонального аналізу множини моделей акселерометрів / В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, К. О. Дубіцький // Prospects of World Science – 2016: materials of the XII International scient. and pract. conf. (July 30 – August 7, 2016). – Sheffield : Science and education ltd, 2016. – Vol. 17. – С. 103–108.

References

1. The MEMS industry: desperately seeking a second wind, available at: http://www.i-micronews.com/mems-sensors/7185-the-mems-industry-desperately-seeking-a-second-wind.html
2. 2015: A year of contrasts for MEMS companies, available at: http://www.i-micronews.com/mems-sensors/7174-2015-a-year-of-contrasts-for-mems-companies.html
3. Petropavlovskiy, Yu. (2015) Modern MEMS products of Analog Devices company. Part 1, *Elements & Components*, No. 6, pp. 40–45 [in Russian].

4. Petropavlovskiy, Yu. (2015) Modern MEMS products of Analog Devices company. Part 2, *Elements & Components*, No. 7, pp. 24–29 [in Russian].
5. Sysoeva, S. (2010) The key segments of MEMS components market. Inertial systems – from low-end to high-end segments, *Components & Technologies*, No. 5, pp. 22–30 [in Russian].
6. Sysoeva, S. (2010) The key segments of MEMS components market. Accelerometers, *Components & Technologies*, No. 3, pp. 20–26 [in Russian].
7. Yudin, A. (2009) New accelerometers of STMicroelectronics company, *Components & Technologies*, No. 2, pp. 28–31 [in Russian].
8. Lebedev, A. (2008) Digital MEMS accelerometers in automotive performance, *Modern Electronics*, No. 5, pp. 12–15 [in Russian].
9. Rudakov, K. S., Lukashenko, V. M. and Utkina, T. Yu. (2015) A two-quadrant shape-sign model of effective router determination, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, *Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 150–156 [in Ukrainian].
10. Lukashenko, V. M., Chichuzhko, M. V. and Lukashenko, D. A. (2013) The method of expansion of functional possibilities of modern microcontrollers, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, *Tehnichni nauky*, No. 6, pp. 186–189 [in Ukrainian].
11. Lukashenko, V. M., Chichuzhko, M. V., Lukashenko, D. A. and Lukashenko V. A. (2013) Determination method of efficiency units for conditional similarity criterion, *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, No. 2, pp. 44–47.
12. Lukashenko, V. M, Utkina, T. Yu, Lukashenko, A. G., Lukashenko, D. A. and Dubitskiy, K. O. (2016) Procedure of functional analysis of the set of accelerometers models. In: *Prospects of World Science – 2016: materials of the XII International scient. and pract. conf.* (July 30 – August 7), Sheffield, vol. 17, pp. 103–108 [in Ukrainian].

V. M. Lukashenko[1], *Dr.Tech.Sc., professor,*
e-mail: kafedra_ckc@ukr.net
T. Yu. Utkina[1], *Ph.D., associate professor,*
e-mail: utia_chdtu@yahoo.com
A. G. Lukashenko[2], *Ph.D.,*
S. A. Mitsenko[1], *postgraduate student,*
K. O. Dubitskiy[1], *undergraduate*
[1] Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
[2] Institute of Electric Welding named after E. O. Paton
Bozhenko str., 11, Kyiv-150, 03680, Ukraine

OPTIMIZATION OF THE PROCEDURE FOR SELECTING SENSORS IN LASER TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Introduction. *Automated and automatic control systems are an integral part of modern high-tech production. Physical quantity sensors are an essential element for every control loop, which allows providing the feedback signal of electronics by control on actuator device. Accelerometers are responsive to acceleration or force acting on the sensor element.*

The purpose of scientific work. *The objective of this research is to optimize the procedure for determining the most suitable accelerometer model from a variety of existing ones through the design and development of multiparameter quality criteria.*

Formulation of the problem. *Most of integrated accelerometers, manufactured by MEMS technology, combine the functions of forward and reverse electromechanical conversion with built-in intelligence. The area of integrated accelerometers application is very wide: from aerospace equipment to automotive one and robotics, which makes a wide range of requirements put forward to them.*

Today MEMS technologies have reached a level that allows not only the production of inexpensive components in mass quantities, but also the massive expansion of their applications, including in laser technological equipment.

The investigation of current accelerometers models on many parameters without mathematical description of relationships between them doesn't allow to optimize the procedure using a PC and takes time. Therefore, the task of rapid determination of accelerometer model from a variety of existing ones on many parameters is important.

The main material. *The authors have conducted the analysis of modern accelerometers models of different MEMS manufacturing companies. As a result, the main technical parameters that affect the performance properties of accelerometers are determined. In this paper the quality criteria for key indicators are calculated. A generalized mathematical model is created. Based on the properties of dimensions theory, dimensionless power complexes and heuristic method, multiparameter quality criteria are developed and their physical interpretation is determined.*

Conclusions. *The procedure for optimization of selecting sensors in laser technological equipment from a variety of existing ones due to the development of quality criteria and the visualization of the proposed sign model of the dependencies of multiparameter quality criteria of many modern accelerometers is offered. As the result of functional analysis of sign model the most suitable model from many modern accelerometers by many parameters at the same time is determined.*

Keywords: *accelerometer, sign model, quality criteria, dimensions theory.*

Статтю представляє д.т.н., професор В. М. Лукашенко, Черкаський державний технологічний університет.